

# PSリニアックのエネルギーについて

931108 T. Kato

20 MeV 陽子リニアックの出力エネルギーが20 MeVを下回っているとのstudy結果（高崎さん）がある。これは、92年夏に低エネルギー側から10個のドリフトチューブを交換し、今年の夏、更に、No. 10 DT交換及び端板の調整等をした結果である。そこで、ビームシミュレーションを用いて、現在のタンクの電場分布の推定等を行ない、今後の見通しの参考としたい。

## 現在の状態

- 1) 夏以前には、前年度交換したステムの冷却が不十分であり、その付近の温度が大きく上昇していた可能性があった。現在は回復。
- 2) 捕獲効率が40%に上昇した。
- 3) 共振周波数が夏以後10 kHz以上高くなった。これは、ステム冷却が効果的になったと思うが、以前からの運転周波数に比べて大分高いという問題が残る。この夏の作業は、DT No.10の交換と端板、周波数チューナーの取り外し等である。RFカップラー交換は普通は問題ないだろう。
- 4) 出力エネルギーが20.2 - 20.3 から19.95 MeV程度まで低下した。20.3というエネルギーは、デザイン値が20.8である事を考えると随分と低い。昔の電場分布測定を基礎にしたビームシミュレーションは、20.4 - 20.6 MeVを与える。

## 原因の推定

以上より、タンクの電場分布が、92年夏を境に大きく変わり、93年夏に、変わり方が加速されたと考えられる。変わる原因を推測すると、

- 1) 局所的な温度分布がある。これはステムの冷却不足で起こっていたが、現在は解決済みと思われる。しかし、交換前と同じかどうかはわからない。
- 2) DTのz方向の整列は、全体ではきかない。xy方向はデータでみると、あまり心配なさそう。
- 3) DT又はステム寸法の変化。交換した全数が異なっていれば、効果は積算されて効く。
- 4) 端板の取付け具合の変化。これはハーフチューブがあるので効く。また、空洞のQ値にもきくので、調べる必要がある。
- 5) タンクとタンクの接続の不備。
- 6) 周波数チューナーの変化。これは不注意があった場合。

捕獲効率が上がる事は、入射部の加速電場が以前より高くなっている事を意味している。入射部付近の電場分布を上げるには、その付近の局所周波数を下げれば良い。しかし、これは、全体の共振周波数が上がっている事と矛盾する。従って、事なる二つの原因が重なっている事が予想される。

## 電場分布の変わり方の推定

### 1) 捕獲効率の変化

(一時期) 捕獲効率が 22 から 27 % に上昇していた。これは、入射部分の加速電場が、相対的に 6% 程度上昇しており、安定位相の絶対値を大きくして、加速のつじつまを合わせていた結果、捕獲効率が上がったと考えられる。図 1 に以前に測定された電場分布 (おそらく稲垣さんの測定) を示す。ステムと DT の冷却不足の為に局所的に共振周波数が変わり、電場分布を変えたとした時の、新しい電場分布も同時に示す。しかし、この分布では、エネルギーの低下は予測されない。当時は、熱以外の原因で更に電場分布が大きく変わっているなどは、予想しなかった。

ところが、現在 40 % (prebuncher off) という驚異的な捕獲効率となっているので、入射部分の電場が更に相対的に上昇したと考えられる。本来、冷却不足が改善されれば、局所的な共振周波数が高くなり、電場が下がるという逆の方向の電場分布が期待される所である。これは、出力エネルギーの低下とあわせて考える。

### 2) 出力エネルギーの低下

測定された電場分布 (図 1 参照) を変化させても、シミュレーション (横エミッタンスを含む) ではなかなか出力エネルギーの低下は得られない。この時の電場の変化は、全体のレベル変化及びある加速セルを固定して、その前後の電場を上げ下げをする方法を使っている。即ち、電場分布の変換は

$$E_{i,new} = [\alpha(E_i - E_{center}) + E_{center}] \times \beta$$

これは、あるセルを中心に ( $E_{center}$ ) その前後の電場を同じ割合 ( $\alpha$ ) で変化させ、その後、励振電力の大きさを変える ( $\beta$ ) 方式となっている。

次に、図 1 の入射部の電場のだら下がりが改善されたと考えて、設計の電場分布に対して同じ計算を行なう。出力エネルギーを図 2 に示す。図 3 に捕獲効率を示す。横軸は励振に必要な電力とした。図 4 に使った電場分布を示す。ここでは、センターセル=59 とした。第 1 タンクが異常であると仮定してセンターセル=12 の場合も行なったが、良い結果は得られなかった。

デザインは、入り口で 1.5 MV/m、出口で 2.1 MV/m の右上がりに傾いた電場分布であるが、この分布の傾きを逆にすれば、エネルギーの低下が見られる。 $\alpha=0$  は平坦な電場分布を表す。 $\alpha<0$  は右下がりの分布となる。 $\alpha$  が負で大きくなればなるほど、出力エネルギーは下がる事がわかる。捕獲効率は、シャントインピーダンスがタンクに沿って大きくかわるので、同じパワーレベルで比較すると少し動きが複雑になる。基本的には、入射部の電場の大きさと、タンク内部で加速に必要な電場が保たれているかどうか依存する。

以上より、20 MeV 以下の出力エネルギーと 40 % 程度の捕獲効率を、以前と同程度の励振電力の時に得る為には、 $\alpha<0$  に近い傾きを持つ電場分布が必要であると思われる。現実には、タンクの両端部の電場は、恐らく直線分布からずれていると思われるので、それらを加味したシミュレーションを行なう必要がある。

## 局所周波数変動の推定

セル共振周波数が、次第に線形的に変化すると電場分布に勾配が生まれる。図5に20 MeVタンクの両端の電場の比を、周波数の関数として示す。横軸の周波数は、タンクの両端の周波数の差と考えてよい。この図から、デザインの電場分布を得るには、タンク両端に±19 kHzの変化を与えて、タンクの途中のセルの周波数をリニアに変化させれば良い事がわかる（ステムを含めたセル周波数が同じ時）。又、図4の $\alpha=-0.25$ は±5 kHz、 $\alpha=-0.5$ は±10 kHzを与えれば良い事がわかる。

局所的に周波数が変われば同様に電場は乱れる。この場合は、正確に計算する為に Alvarez 法を使う (Okumura, 1976 Linac Conf. p.394)。以前の環境に加えて、第1タンクの8割程度の領域に-250 kHzの摂動を加えた時の電場分布の変化を図6に示す。細い線は摂動前の分布、太い線は摂動後の分布である。摂動前の分布は測定値とは多少異なる。この時、全体の共振周波数は-16 kHz変化する。これとほぼ等価な勾配を第1セルのギャップだけで得ようとするれば、約8 MHz周波数を変える必要があり、ギャップ間隔にして0.3 mm程度となる。

第1ギャップだけが変化したと考えた時の電場分布の変化の様子を図7に示した。

## 今後の対策

- 1) 共振周波数測定 TM010, TM011, TM012
- 2) Q値測定
- 3) チューナーの長さの確認
- 4) 両端板とハーフセルの確認
- 5) 冷却水の点検
- 6) 電場分布の測定。1個のチューナーを動かして、データをとる。それと他のチューナーとの比較をすれば、チューナーがある場所の電場の相对比较が出来る。但し、大きくチューナーを変えない事と、そのタンク内部への入り具合に留意する。
- 7) チューナーによる電場分布の調整
- 8) タンク rf モニター (全数) による電場の監視  
10年以上前に使った rf monitor の位置。

1	939 mm
2	2190
3	3513.78
4	4857.78
5	
6	7536.57
7	8813.37
8	
9	11370.9
10	12685.19
11	13950.98
12	15200.98
TANK	8185.37

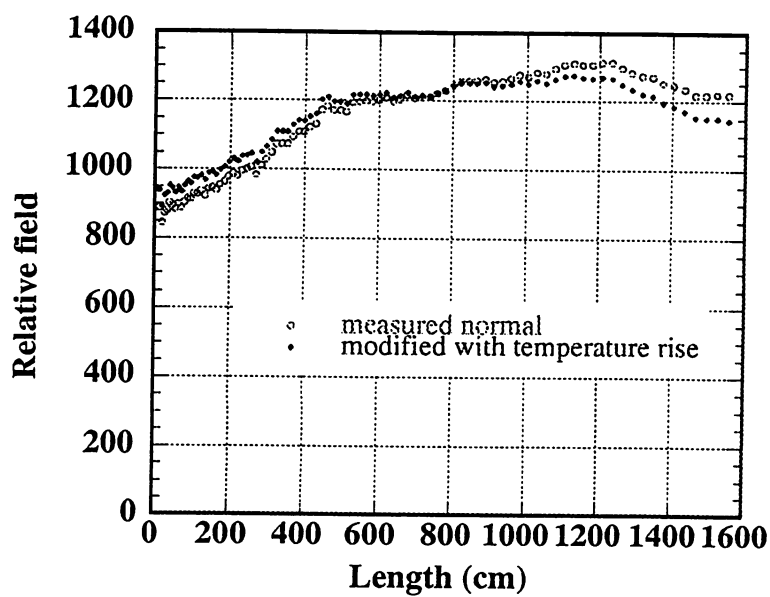


図1 電場分布（測定値）とDTの温度変化により変化したと推定された電場分布。

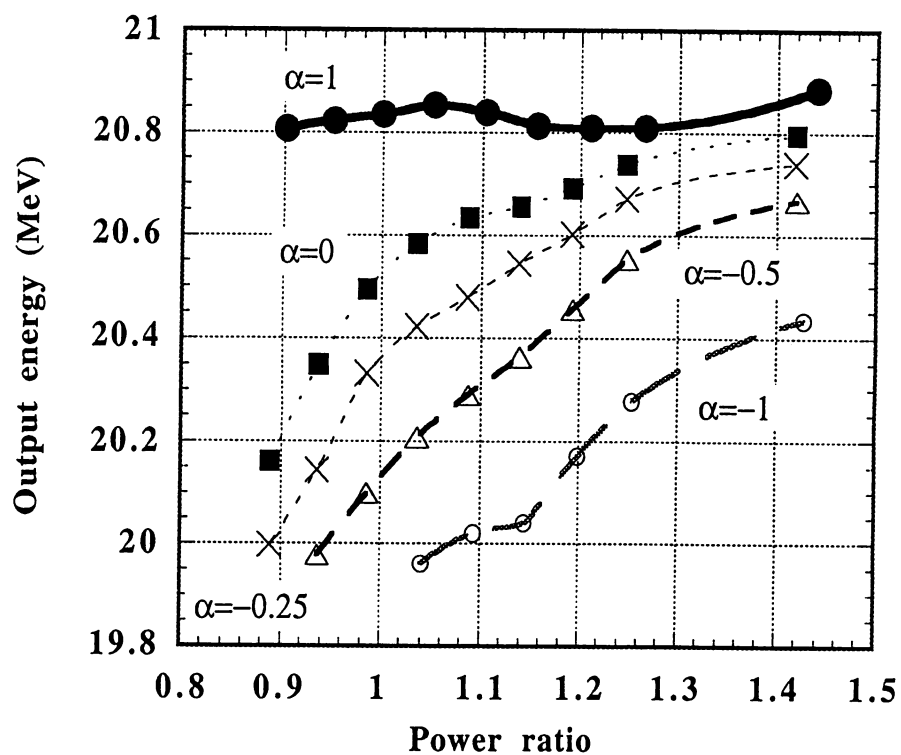


図2 電場分布と励振電力を変えた時の出力エネルギー。

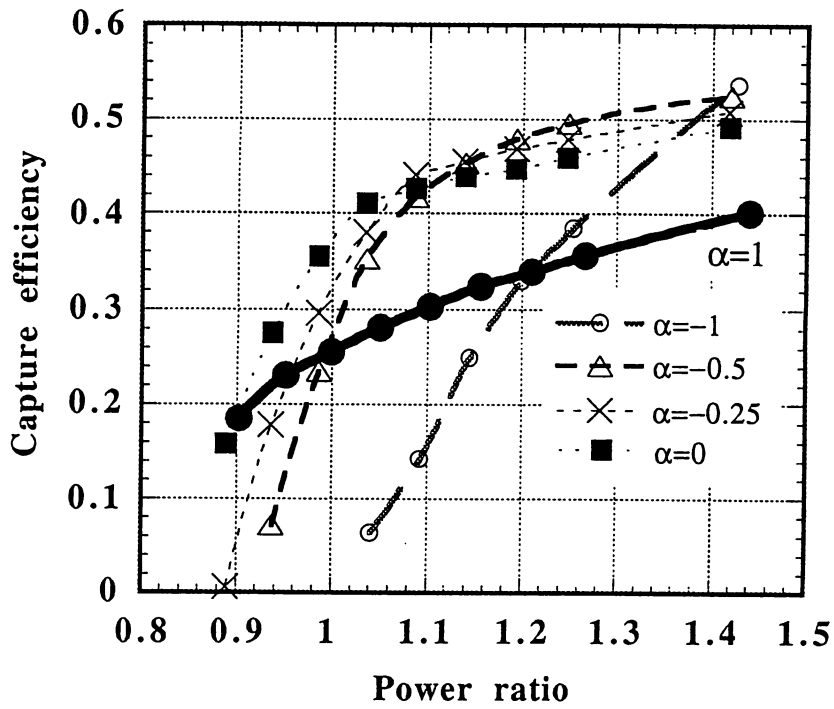


図3 電場分布と励振電力を変えた時の捕獲効率。

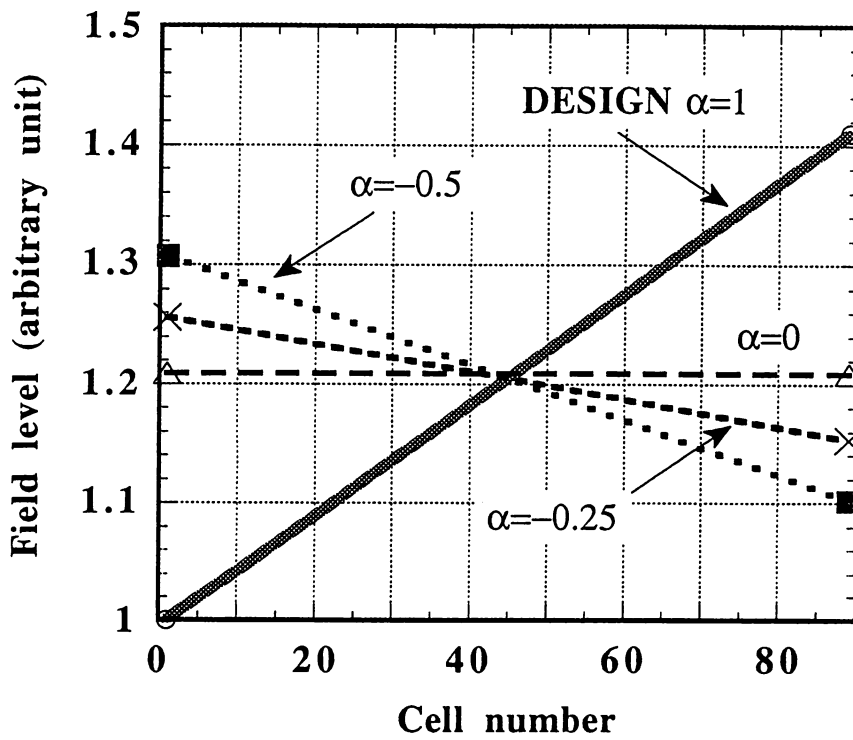


図4 図2-3で使った電場分布。(Power ratio 1.0の時)

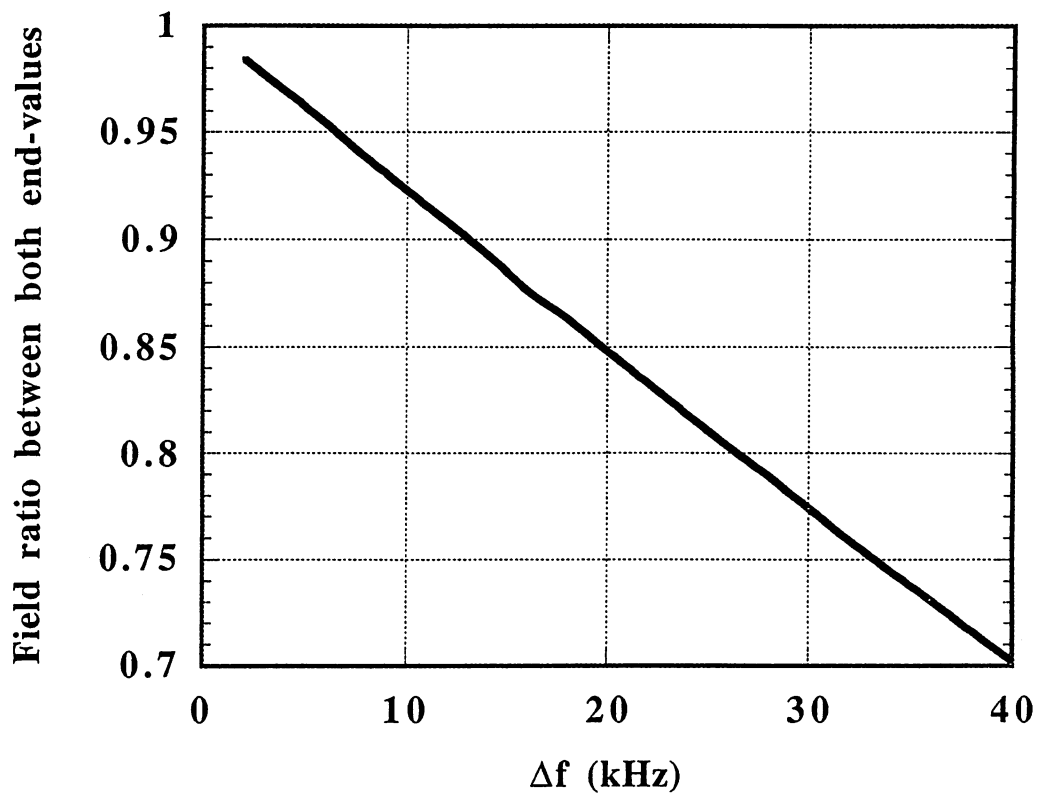


図5 タンクの中のセル周波数がりニアに変化する時に生ずる電場分布の両端の値の差。片端を1.0とした時の他端の値。

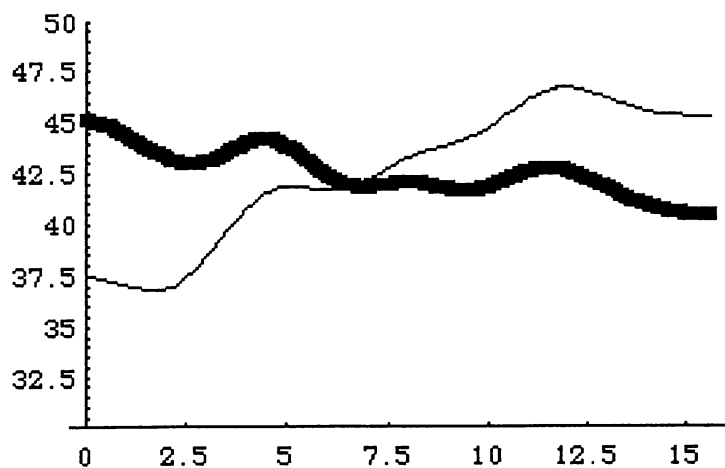


図6 第1タンクに均等に約-250 kHzの周波数変化を与えた時の電場分布の変化。

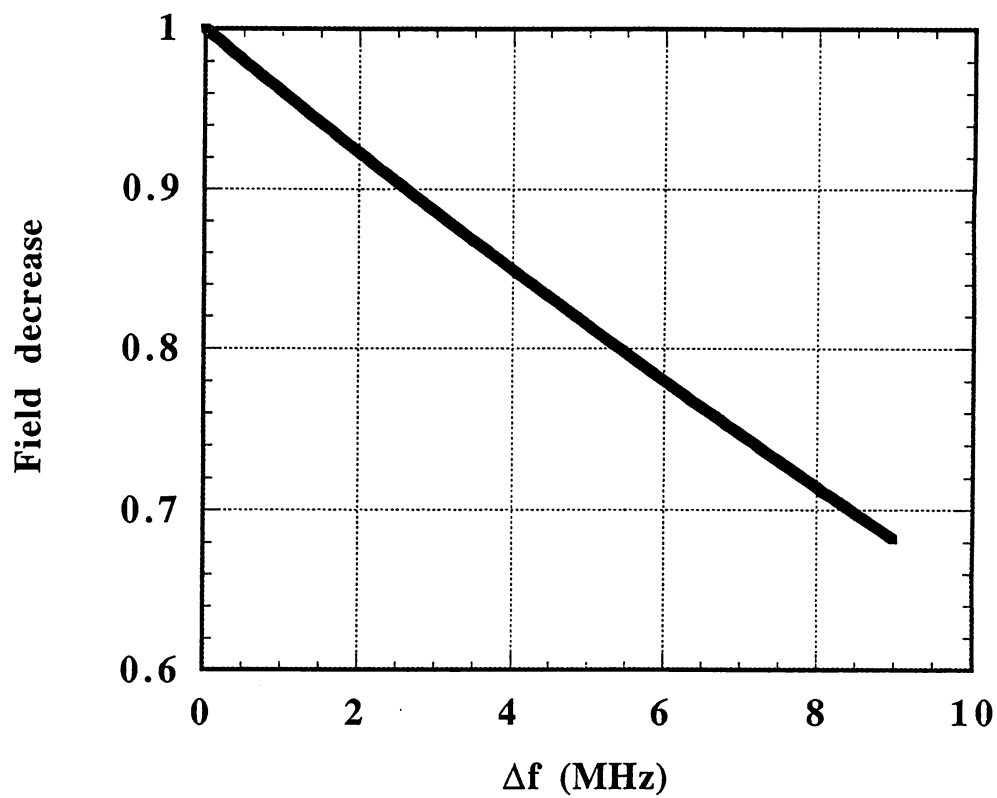


図7 第1セルだけに周波数変化を与えた時の電場分布の傾き。(min./max)